

## УДК 621.9.048

**Кондратюк О. М., к.т.н., доц.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Гевко Б. М., д.т.н., проф.,** **Ляшук О. Л., д.т.н., проф.,** **Галан Ю. Я.**  
(Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя)

### **РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ**

**Проведено аналіз різних методів вібраційної обробки. Вказано на ефективні шляхи підвищення якості технологічного процесу. Визначено роль активаторів в технологічному процесі. Надано аналіз кінетичної енергії робочого середовища.**

**Ключові слова:** вібраційна обробка, технологічний процес, кінетична енергія.

**Однією із передумов** подолання кризової ситуації у національній економіці є подальший розвиток машинобудування, який сприяє зростанню продуктивності праці, підвищенню ефективності виробництва, покращенню якості продукції та вимагає принципово нових підходів до створення і використання високоефективних ресурсозаощадних технологій. Стан розроблення технологічних процесів у машинобудуванні вимагає істотного покращення експлуатаційних і технологічних параметрів машин та оснащення, які б забезпечили високу якість деталей, дали змогу підвищити продуктивність праці та ефективність виробництва при обробленні деталей складного профілю, малої жорсткості з поганим доступом ріжучих інструментів до оброблюваних поверхонь. При цьому ефективним є спосіб оброблення таких деталей вільними абразивами при вібраційному обробленні в сипучому абразивному середовищі. Цей спосіб є ефективним для зачисних, шліфувальних, полірувальних і зміцнюючих технологічних процесах при виготовленні деталей машин.

**Одним із головних** напрямів інтенсифікації вібраційного оброблення є розробка нових її різновидностей. Інтенсивність вібраційного оброблення (ViO) визначається зняттям металу або ступенем пластичного деформування поверхні в результаті взаємодії абразивної гранули з деталлю. Чим вище енергетичний рівень середовища, тим більша сила такої взаємодії. Оскільки вібраційне оброблення деталей в середовищі вільноколивних тіл являє собою багатofакторний процес, інтенсивність якого залежить від амплітуди і частоти коливань

робочої камери, траєкторії її руху, тривалості оброблення, марки оброблюваного матеріалу, характеристики і розмірів частинок робочого середовища, об'єму робочої камери та ступені її заповнення, механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей та інших факторів, то дослідження в області вібраційного оброблення [1; 2] дають обґрунтування при дослідженні таких основних закономірностей вібраційно методу оброблення як продуктивність і якість обробленої поверхні, незалежними перемінними параметрами прийняли: амплітуду кутових коливань  $A$ , частоту коливань  $\omega$ , термін оброблення  $T$ , ступінь заповнення робочої камери  $K$ . Також інтенсивність вібраційного оброблення залежить від наявності додаткового руху деталей або сипучого абразивного середовища, електрохімічної, магнітної, термічної та іншої його складової. На основі цього виникають багато принципово нових напрямків підвищення інтенсивності вібраційного оброблення.

Вібраційне оброблення з вільним завантаженням деталей в залежності від характеру робочого середовища, яке використовується, являє собою механічний або хіміко-механічний процес зняття мікрочастинок металу і його окисів з поверхні, яка обробляється, а також зглажування мікронерівностей шляхом їх пластичного деформування частинками робочого середовища, які в процесі роботи здійснюють коливний рух.

При шпindelьному вібраційному обробленні (ШВіО) підвищення інтенсивності досягається за рахунок поєднання енергії гранули, яку вона отримала від віброкамери, і енергії додаткового руху закріпленої деталі.

Особливістю віброабразивного електрохімічного оброблення (ВіАЕХО) є те, що в зону взаємодії гранули і деталі додатково підводиться енергія електрохімічної реакції. Проходить анодне розчинення поверхневого шару деталі, яка обробляється, і його механічне зняття гранулами. Продуктивність процесу порівняно з ВіО підвищується.

Суть методу магніто-віброабразивного оброблення (ВіМтАО) полягає у тому, що від окремого джерела в робочу зону вібраційної установки підводиться енергія постійного або змінного силового магнітного поля. Вібротермомеханічний метод (ВіТМО) проводить оброблення з підігрівом деталей.

**В розглянутих випадках** підвищення інтенсивності ВіО досягається за рахунок одночасної дії на робоче середовище двох і більше видів енергій, або додаткових рухів деталей, які обробляються.

Ефективнішими шляхами підвищення енергетичного рівня робочого середовища можуть бути, якщо віброуючій камері надати до-

даткові переміщення [3; 4], зменшити відстань абразивної гранули сипучого робочого середовища до енергетичної поверхні.

Ускладнення кінематичного руху камери потрібно проводити таким чином, щоб завантажене робоче середовище піддавати одночасній взаємодії направлених вібрацій і відцентрових сил. У вібраційному обробленні (ВіО) визначаються такі різновидності руху робочої камери та її форми (циліндрична, сферична, торова, V-подібна та ін.) і може бути:

- з площинною вібрацією робочої камери;
- з об'ємною вібрацією робочої камери;
- з простим обертанням робочої камери;
- зі складним обертовим рухом камери відносно двох або трьох власних осей;
- з кутовими коливаннями робочої камери;
- з кутовою вібрацією робочої камери, яка рухається по складній просторовій кривій;
- з планетарним рухом робочої камери;
- з об'ємною кутовою вібрацією робочої камери;
- з комбінованою (поєднання або накладання одна на одну вище наведених різновидностей) вібрацією робочої камери.

Цю ідею покладено в основу розроблення нових процесів вібраційно-відцентрового оброблення (ВВО) і обладнання для його здійснення особливо для деталей складної конфігурації і малої жорсткості.

З метою інтенсифікації процесу оброблення і підвищення якості поверхні, які обробляються, розроблена ціла гама установок для об'ємного оброблення деталей з використанням відцентрових сил і вібрацій розроблено в Ризькому політехнічному інституті [5]. Загальними конструктивними ознаками цих установок є поєднання простого обертового руху і площинних вібрацій елементів робочого контейнера, а також використання різного роду активаторів, які вводяться в зону обробки робочої камери.

В контейнері 1 (рис. 1) установлений ротор 2, закріплений на валу 3, який муфтою 4 з'єднаний з електродвигуном 5. Під контейнером, який кріпиться до рами пружинами 6, встановлено електромагнітний вібратор 7. Всередині контейнера розміщений екран 8, виконаний у вигляді зрізаного малого конуса, твірні якого розміщені під кутом до осі обертання більшим, чим кут між ротором і його віссю обертання. Екран через гвинтову пару 9-10 може переміщатися по висоті контейнера 1. Для подання рідини використовують насос 11 з трубопроводами 12. Завантаження в процесі оброблення циркулює із зони А в зону В, проходячи зону найбільшої інтенсивності оброблення Б. Із зони В через отвір в центрі екрана 8 завантаження знову

попадає в зону А.

Вібраційно-відцентрове оброблення може здійснюватися не тільки в установках, в яких відцентрові сили інтенсифікують процес оброблення, що виникають за рахунок просторового чи планетарного руху робочої камери, але і в установках з рухом робочої камери по складній просторовій кривій. Увагу заслуговують існуючі конструкції турбуляційних установок розроблених в Національному університеті водного господарства та природокористування [6; 7].

Постійне вдосконалення вібраційного оброблення, особливо для деталей складної конфігурації і малої жорсткості, на шляху її інтенсифікації, яка розвивається різновидними напрямками, потребує проведення все більших об'ємів аналізу кінематичних схем вібраційних установок.

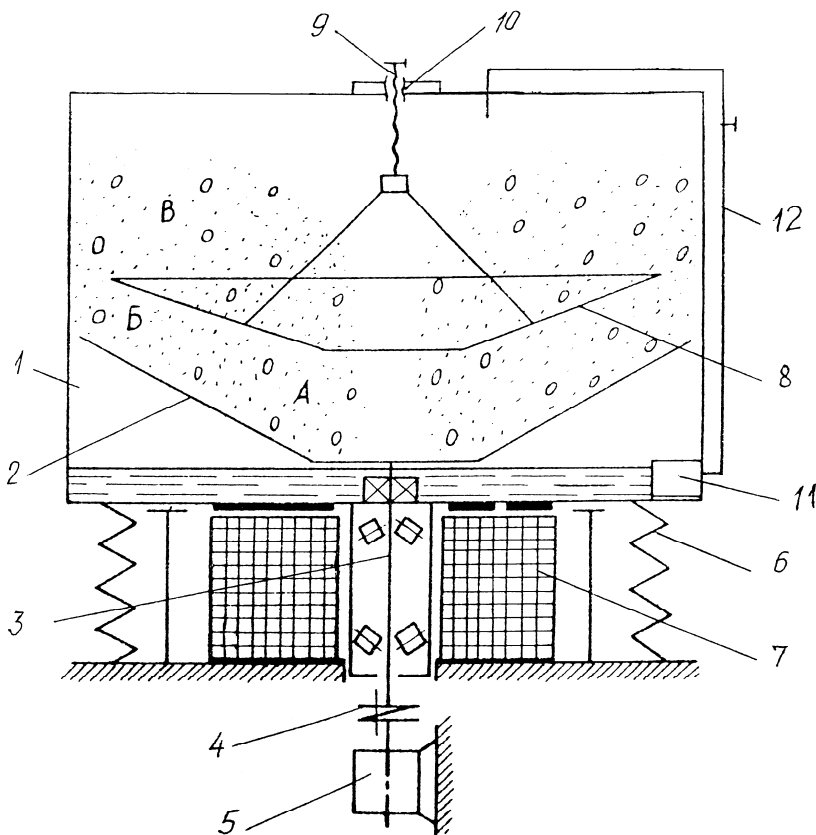


Рис. 1. Технологічна схема вібраційно-відцентрової установки

Вібраційно-відцентрова установка (ВВУ I) зі складними кутівими коливаннями наведено на рис. 2. Станина 1 установки виконана із сталеві труби, до нижнього торця якої приварено основу, вигото-

влени із товстого сталюого листа. Вздовж діаметрально протилежних твірних в середині поверхні станини приварені кронштейни 2 для кріплення опор 3, які є зварним корпусом, в який завулканізовано гумою капронова втулка рухомого з'єднання з цапфами рамки 4. За допомогою знімних цапф 5 з рамкою 4 шарнірно з'єднана робоча камера 6. До дна робочої камери приварена ступиця з квадратним отвором, в який вільно входить водило 7, посаженого нижнім своїм кінцем в сферичний підшипник кочення. Корпус 8 сферичного підшипника, при допомозі шарнірів, зв'язаний з вилкою 9, яка має різьбовий отвір для з'єднання з ходовим гвинтом 10, який має в наявності праву і ліву різі. На ділянку з лівою різзю накручується противага 11. Ходовий гвинт встановлено в опорах кривошипа 12, який обертається за допомогою клиноремінної передачі від електродвигуна, а стійка кривошипа жорстко кріпиться до основи станини. Активатор 13, який збільшує площу передачі імпульсу сипучому абразивному робочому середовищі, чи великогабаритна деталь, різної складності геометричної форми, закріплюється кронштейнами 14 при допомозі спеціальних гвинтів 15, які мають в наявності праву і ліву різі. Така конструкція механізму приводу дозволяє плавно змінювати амплітуду кутових коливань. Наявність активатора в вигляді циліндра, конуса, чи іншої форми дозволяє збільшити величину переданого імпульсу вібрації абразивному робочому середовищі, змінити напрямок циркуляції сипучого робочого середовища. Встановлення активаторів в середину робочої камери зменшує відстань до шарів сипучого абразивного середовища від енергетичних поверхонь, що призводить до збільшення вібраційного імпульсу, який отримують гранулами робочого середовища. Наявність активаторів в середині камери, в певний період, змінює напрямок отриманих віброімпульсів для градієнтів сипучого робочого середовища, використовуючи одне і теж джерело вібраційно-відцентрових коливань, що і робоча камера. При цьому збільшується інтенсивність циркуляції сипучого робочого середовища, її вигляд і напрямки, що досягається різними формами (циліндричними, конічними, сферичними та ін.) активаторів. Це дозволяє розширити технологічні можливості вібраційно-відцентрової установки. Можливості ВВУ можна розширити, якщо закріпити в кронштейнах замість активатора великогабаритну деталь, яку потрібно обробити. Це дає можливість одночасно обробляти деталі малих і великих габаритів. Обробка великогабаритної деталі, різної складності геометричної форми, закріпленої кронштейнами в середині робочої камери, заміняє функцію активатора, що розширяє технологічні мо-

жливості ВВУ. Результати дослідження процесу ВіО можна зробити висновок, що оброблення залежить від режимів і тривалості, характеристик і розмірів частинок робочого середовища. Основними параметрами даного процесу є: характер руху робочої камери і частинок робочого середовища, їх швидкості і прискорення, сили мікроударів, контактний тиск, напруженість і температура, яка виникає в зоні дії мікроударів.

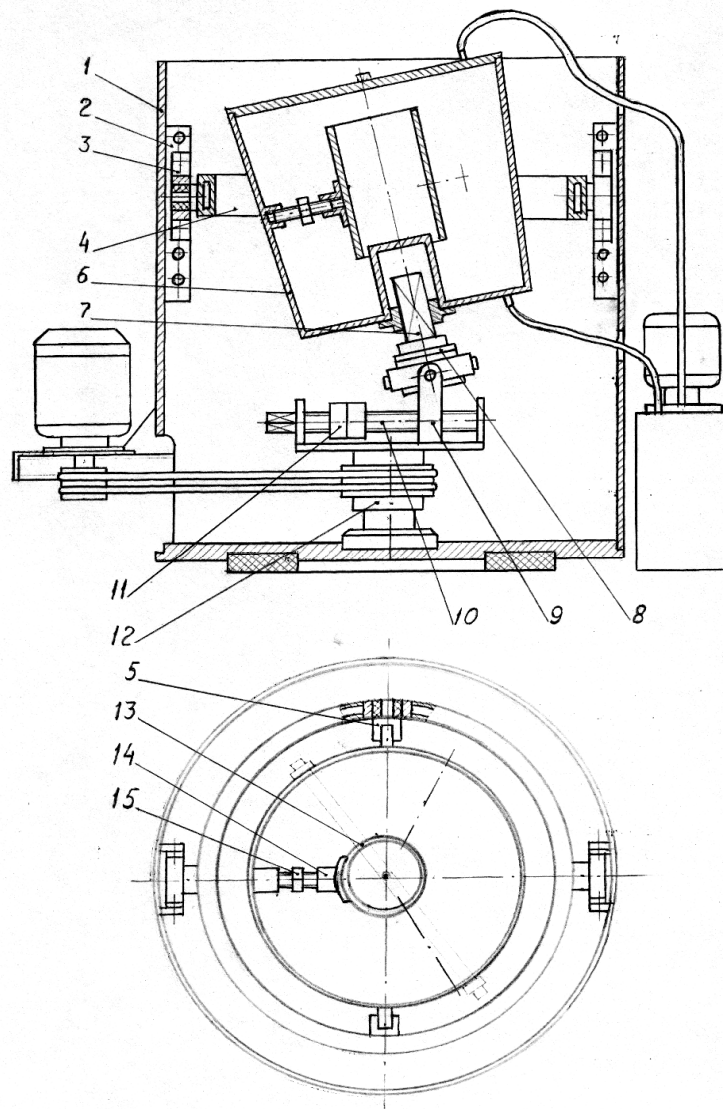


Рис. 2. Схема вібраційно-відцентрової установки (ВВУ I)

В процесі оброблення робоча камера здійснює гармонійні або близькі до них коливання, а її точки рухаються по траєкторії, яка задається кінематикою верстата. Частинки робочого середовища про-

тягом кожного періоду коливань на певній його ділянці рухаються разом з робочою камерою, і в цей період їх траєкторії і швидкості співпадають, або близькі. Потім проходить відрив частинок середовища від стінок робочої камери в результаті різних величин і напрямків їх швидкостей і прискорень ( $a > g$ ). Після відриву, ці частинки вільно рухаються. На цій ділянці періоду коливань траєкторія руху частинок є складною.

Процес вібраційного оброблення супроводжується взаємодією на деталь, яка обробляється, сукупністю факторів: великою кількістю мікроударів частинок робочого середовища, яка забезпечує пластичну деформацію, зняття металу і його окислів, змінних прискорень, які забезпечують високу рухомість і ударний характер взаємодії частинок робочого середовища і деталей, наявність хімічних і поверхнево-активних розчинів, які входять в склад ЗОР.

Встановлення аналітичних залежностей траєкторій, швидкостей, прискорень, які характеризують кінематику робочої камери, визначає інтенсивність протікання процесу вібраційного оброблення.

Установки з площинною вібрацією і простим обертанням робочої камери характеризуються залежністю зміни швидкості і прискорення від часу, яка наведена на рис. 3.

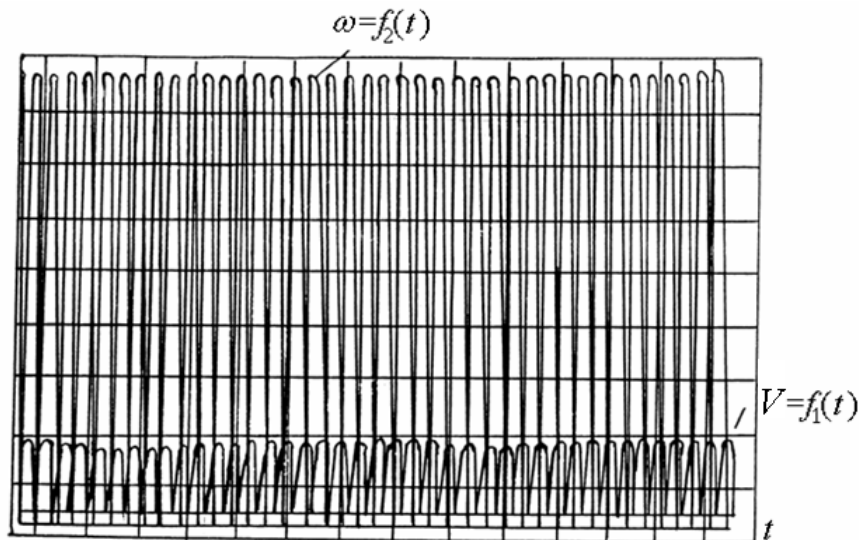


Рис. 3. Залежність зміни швидкості та прискорення камери від часу при площинній вібрації і простим обертанням робочих камер

Швидкість і прискорення точок бокової поверхні робочої камери змінюється з великою частотою і приблизно рівною величиною, що визначає напрямок руху абразивного робочого середовища і ін-

тенсивність його «кипіння» (обертання абразивної гранули навколо своєї осі).

Встановлена аналітична залежність між параметрами руху вібраційних установок з керованим просторовим рухом робочої камери, яка виконана в вигляді циліндричної, конічної, сферичної або іншої асиметричної форми, (рис. 4, 5). Камера закріплена в карданному підвісі з можливістю осьового переміщення відносно точки перетину осей  $A-A$  (вісь нерухомих опор) і  $B-B$  (вісь рухомих опор) шарнірів карданного підвісу, (рис. 2). Кутові просторові коливання робочої камери надаються переміщенням водила навколо центру привода заданого радіусу, зв'язаного з камерою, по різним плоским траєкторіям.

Кутова швидкість точок поверхні робочої камери відносно осей  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$ , приблизно співпадають своїми періодами, але початкові фази трошки зміщені. Поєднання всіх складових кутової швидкості руху точок призводить до отримання оптимально максимального його значення, що забезпечує велику інтенсивність руху абразивного робочого середовища.

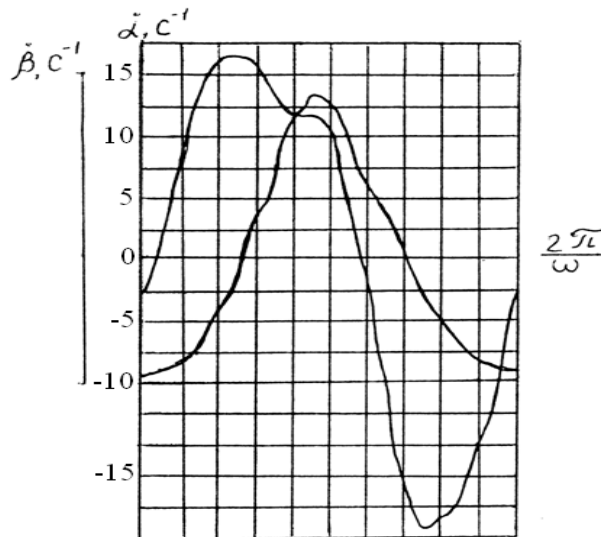


Рис. 4. Залежність зміни проекції кутової швидкості камери відносно осі  $OX$ ,  $OY$



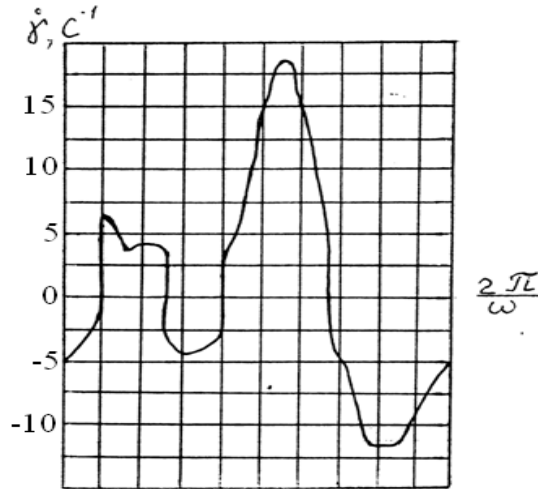


Рис. 5. Залежність зміни кутової швидкості камери відносно осі  $OZ$

**Аналізуючи наведені** конструктивні схеми вібраційно-відцентрових установок, приходимо до висновку, що кінетичну енергію, необхідну для зняття дрібних частинок металу з поверхні, яка обробляється, і згладжування мікронерівностей шляхом пластичної деформації, інгредієнти робочого середовища отримують від стінок робочої камери, яка коливається, та активаторів, які знаходяться в ній. Тому вигляд коливного руху робочої камери і наявність активаторів визначає інтенсивність протікання процесу вібраційного оброблення.

1. Баби́чев А. П. Вибрационная обработка деталей / А. П. Баби́чев – М. : Машиностроение, 1974. – 133 с. 2. Карташов И. Н. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И. Н. Карташов и др. – Киев : Вища школа, 1975. – 188 с. 3. Кондратюк О. М. Аналіз існуючих методів вібраційної обробки деталей / О. М. Кондратюк // Вісник НУВГП: збірник наукових праць. – Рівне : НУВГП, 2006. – Випуск 2(34). Частина 2. – С. 271–277. 4. Мороз В. М. Разновидности процесса вибрационно-центробежной обработки и оборудования для его осуществления: дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / В. М. Мороз. – Ростов н/Д., 1987. – 256 с. 5. Пути интенсификации процессов и машин объемной вибрационной и центробежной обработки насыпных деталей. / А. П. Субач // Интенсификация и автоматизация отделочно-зачистной обработки деталей, машин и приборов. – Ростов н/Д. : РИСХМ, 1988. – С. 124–126. 6. Мороз В. М. Анализ конструктивных схем оборудования для вибрационно-центробежной обработки / В. М. Мороз // Прогрессивная отделочно-упрочняющая технология. – Ростов н/Д : РИСХМ, 1982. – С. 76–88. 7. Кондратюк О. М. Аналіз циркуляції робочого середовища при вібраційно-центробіжній обробці деталей / О. М. Кондратюк,

I. В. Ромейко // Вісник НУВГП: зб. наук. пр. – Рівне : НУВГП, 2008. – Вип. 2(34). – С. 253–271.

Рецензент: д.т.н., професор Кравець С. В. (НУВГП)

---

**Kondratiuk O. M., Candidate of Engineering, Associate Professor**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)  
**Hevko B. M., Doctor of Engineering, Professor, Liashuk O. L., Doctor of Engineering, Professor, Halan Y. Y.** (Ternopil Ivan Puliui National Technical Universtiy)

### **EXPANSION OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF PARTS VIBRATORY MACHINING**

**The analysis of different methods of vibratory machining has been made. The effective ways improving the technological process are specified. The role of activators in the technological process is determined. The analysis of the working environment kinetic energy is provided.**

**Keywords: vibratory machining, technological process, kinetic energy.**

---

**Кондратюк А. М., к.т.н., доц.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Гевко Б. М., д.т.н., проф., Ляшук О. Л., д.т.н., проф., Галан Ю. Я.**  
(Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя)

### **РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ**

**Проведен анализ различных методов вибрационной обработки. Указаны эффективные пути повышения качества технологического процесса. Определена роль активаторов в технологическом процессе. Дан анализ кинетической энергии рабочей среды.**  
**Ключевые слова: вибрационная обработка, технологический процесс, кинетическая энергия.**

---